بررسی تأثیر وضعیت ظاهری روسازی بر مصرف سوخت وسایل نقلیه با استفاده از نرم‌افزار HDM-4

منصور فخری *، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
ابراهیم شورمیج، دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: fakhri@kntu.ac.ir
دریافت: ۱۳۹۳/۰۱/۱۰- پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۲۵

چکیده

هزینه عملیاتی وسایل نقلیه شامل مصرف سوخت، مصرف روغن موتور، نگهداری و تعمیرات و زمان سفر می‌باشد که یک بخش مهم از آنالیز هزینه‌های چرخه عمر روسازی است. بخش مهمی از هزینه‌های عملیاتی وسایل نقلیه مربوط به هزینه مصرف سوخت می‌باشد. هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر گزینه‌های بهسازی روسازی در دوره تحلیل ۱۰ سال بر کاهش مصرف سوخت وسایل نقلیه می‌باشد. بدین منظور مصرف سوخت در ۱۱۷۰ کیلومتر از شبکه راه‌های شریانی استان خوزستان با استفاده از نرم‌افزار HDM-4 برای دو حالت کلی از عملیات مرمت و نگهداری روسازی مورد ارزیابی قرار گرفت. در حالت اول فقط درزگیری و لکه‌گیری (نگهداری روزمره) و در حالت دوم عملیات نگهداری اساسی (روکش ، بازسازی روسازی و ...) نیز در نظر گرفته شد. همچنین نگهداری اساسی به منظور بررسی کیفیت ساخت، برای دو سطح از ناهمواری تعریف گردید. در حالت اول فرض گردید پس از اعمال عملیات نگهداری اساسی مقدار IRI به ۱/۵متر بر کیلومتر و در حالت دوم به ۲/۵ متر بر کیلومتر برسد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، با در نظر گرفتن نگهداری روزمره به عنوان رویکرد نگهداری روسازی، تغییری در کاهش مصرف سوخت مشاهده نشد. با اعمال عملیات نگهداری اساسی، مصرف سوخت خودروها در دوره طرح روسازی کاهش یافت. کاهش مصرف سوخت در ناهمواری ۱/۵ متر بر کیلومتر، بین ۰/۵ تا ۱/۵ درصد برای خودروهای سبک و ۱/۵ تا ٤/۰ درصد برای خودروهای سنگین و دیزلی حاصل گردید. همچنین مصرف سوخت در ناهمواری ۲/۵ متر بر کیلومتر، برای خودروهای سبک و بنزینی بین ۰/۱ تا ۱ درصد و برای خودروهای سنگین و دیزلی ۰/۵ تا ۲/۵ درصد کاهش یافت. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با اجرای نگهداری اساسی در زمان مناسب، صرفه‌جویی بسیار زیادی در مصرف سوخت از طریق بهبود کیفیت سواری و مشخصات سطحی روسازی حاصل می‌شود.

واژه‌های کلیدی: هزینه‌های عملیاتی وسایل نقلیه، مصرف سوخت، وضعیت ظاهری روسازی، ناهمواری

۱- مقدمه

به طور کلی هزینه‌های مربوط به راه می‌تواند به دو دسته کلی تقسیم گردد: دسته اول هزینه‌های ادارات راه به منظور ساخت و نگهداری راه و دسته دوم هزینه‌هایی است که به طور مستقیم توسط کاربران راه پرداخت می‌شوند. هزینه استفاده‌کنندگان، از هزینه‌های مهم در برآورد اقتصادی پروژه‌های ترمیم و نگهداری روسازی راه می‌باشد. هزینه استفاده‌کنندگان از راه در سه دسته

Archive of SID
www.SID.ir

هزینه‌های وابسته به زمان، مسافت و سرعت به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱- هزینه‌های وابسته به زمان شامل فرسودگی، بیمه، مالیات، پارکینگ و ... می‌باشند.

۲- هزینه‌های وابسته به مسافت شامل مصرف سوخت[۱]، روغن موتور، لاستیک، نگهداری و تعمیرات و استهلاک وسیله نقلیه است.

۳- هزینه‌های وابسته به سرعت شامل ارزش زمانی سفر، مصرف سوخت، روغن موتور و لاستیک می‌باشند.

هزینه‌های تولید شده توسط کاربران راه شامل تمام هزینه‌های عملیاتی وسایل نقلیه هنگام استفاده از راه می‌باشد. هزینه‌های عملیاتی وسایل نقلیه شامل هزینه‌های مربوط به مصرف سوخت، تصادفات، مصرف روغن موتور، آلودگی هوا، فرسودگی چرخ‌ها، هزینه‌های مربوط به نگهداری و استهلاک وسایل نقلیه می‌باشد. مصرف سوخت وسایل نقلیه، یکی از عناصر مهم تشکیل دهنده هزینه‌های عملیاتی وسایل نقلیه[۲] می‌باشد که به طور معمول بین ۲۰ تا ٤٠ درصد از کل هزینه‌های عملیاتی وسایل نقلیه را تشکیل می‌دهد (فخری، ۱۳۸۹). کاهش مصرف سوخت با توجه به روند افزایشی قیمت سوخت در کشور و افزایش تعداد وسایل نقلیه بسیار حائز اهمیت می‌باشد. تکنولوژی وسایل نقلیه، نوع روسازی، وضعیت ظاهری روسازی[۳]، هندسه راه، شرایط زیست محیطی، سرعت وسایل نقلیه و... بر مصرف سوخت خودروها تاثیرگذار است. یکی از پارامترهای تاثیرگذار بر مصرف سوخت خودروها وضعیت ظاهری روسازی می‌باشد. ناهمواری[٤]، مقاومت لغزندگی[٥] و خرابی‌های موجود در سطح روسازی از جمله مولفه‌های مربوط به وضعیت ظاهری روسازی می‌باشند. بهبود وضعیت ظاهری روسازی تا حد زیادی سبب کاهش هزینه‌های عملیاتی وسایل نقلیه می‌شود. مرمت و بهسازی روسازی در زمان مناسب، یک گزینه جهت بهبود وضعیت ظاهری روسازی است. به همین منظور از نرم‌افزار HDM-4[٦] برای تحلیل هزینه‌های مصرف سوخت وسایل نقلیه در چرخه عمر روسازی استفاده شده است. نرم‌افزار HDM-4 کاربردهای زیادی در زمینه مدیریت روسازی راه دارد که در بسیاری از کشورهای در حال توسعه مانند کشورهای شرق آسیا و برخی از کشورهای آفریقایی و آمریکای جنوبی و... به عنوان ابزاری جهت ارزیابی وضعیت روسازی، نگهداری راه و همچنین سرمایه‌گذاری در شبکه راه‌ها استفاده شده است.

۲- پیشینه تحقیق

طبق گزارش انجمن اداره بزرگراه‌های آمریکا[۷] (AASHTO)، راه‌ها با وضعیت روسازی ضعیف سالیانه حدود ۷٦/۸ میلیارد دلار هزینه اضافی به هزینه‌های حمل و نقل وارد می‌کنند. این هزینه‌ها اساساً به دلیل اثرات متقابل[۸] بین وسایل نقلیه و روسازی می‌باشد (Zaabar, 2010). از جمله مطالعات انجام شده در زمینه تاثیر وضعیت سطحی روسازی بر مصرف سوخت، آزمایشاتی است که در انستیتو ملی تحقیقات راه و ترافیک سوئد در زمینه تاثیر وضعیت سطحی روسازی بر مصرف سوخت وسایل نقلیه انجام شده است که نتایج این بررسی در ASTM STP 1031 در سال ۱۹۹۰ منتشر شده است. در این آزمایش از خودروی سواری مخصوصی با سرعت‌های ثابت ۵۰، ٦۰ و ۷۰ کیلومتر بر ساعت، بیش از ۲۰ آزمایش در مناطق با بافت‌های مختلف انجام شد. نتایج به دست آمده از این بررسی نشان می‌دهد ارتباط روشنی بین مصرف سوخت با بافت درشت[۹] و ناهمواری روسازی وجود دارد و جاده‌های ناهموار ممکن است تا ۱۲٪ مصرف سوخت را نسبت به جاده‌های به نسبت هموار افزایش دهند. همچنین در محدوده آزمایش انجام شده، مصرف سوخت وسایل نقلیه ممکن است حتی تا ۱۲٪ تحت تأثیر ویژگی‌های سطحی روسازی باشد (Sandberg, 1990). در هلند در زمینه مصرف سوخت آزمایشاتی برروی روسازی‌های مختلف با استفاده از خودرو سواری Volvo V70 به همراه دو مسافر با سرعت ثابت ۹۰ کیلومتر بر ساعت در مقطع مورد مطالعه، انجام شد. نتایج به دست آمده از این بررسی نشان می‌دهد، وضعیت سطحی روسازی راه به خصوص عوامل موثر بر بافت و ناهمواری روسازی (مثل کیفیت ساخت و نگهداری راه) بیشترین تاثیر را بر مصرف سوخت دارند و انتظار می‌رود تغییرات در مصرف سوخت در شرایط مختلف از نظر بافت و ناهمواری

Archive of SID
www.SID.ir

روسازی تا ۱۰٪ باشد (Beuving et al., 2004). در آمریکا هزینه‌های عملیاتی وسایل نقلیه سنگین قبل و بعد از انجام عملیات بهسازی روسازی مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های به دست آمده، تا ۱۰٪ کاهش را در متوسط IRI[10] بعد از انجام عملیات بهسازی نشان می‌دهد. همچنین کاهش در میزان IRI باعث کاهش در میزان مصرف سوخت وسایل نقلیه سنگین شد. با توجه به نتایج به دست آمده، مصرف سوخت خودروهای سنگین در روسازی هموار ٤/٥٪ به ازای هر کیلومتر، کمتر از روسازی ناهموار قبل از اجرای عملیات بهسازی است (Federal Highway Administration, 2000). در زمینه تاثیر وضعیت سطحی روسازی بر مصرف سوخت، مطالعاتی توسط برخی از محققین انجام شده است. در این مطالعات با استفاده از اندازه‌گیری مستقیم مصرف سوخت یا مقاومت غلتشی[11]، میزان مصرف سوخت در ناهمواری‌های مختلف اندازه‌گیری شد. مقاومت غلتشی، مقاومتی است که در اثر غلتش یک جسم دایره‌ای شکل مثل لاستیک روی یک سطح صاف به وجود می‌آید. علت اصلی به وجود آمدن آن، تغییر شکل جسم (لاستیک)، تغییر شکل سطح روسازی و یا تغییر شکل هر دو می‌باشد. ناهمواری و بافت درشت روسازی دو پارامتر برای توصیف ویژگی‌های سطحی روسازی در ارتباط با مقاومت غلتشی است(Wang et al., 2012). در جدول ۱ نتایج مطالعات انجام شده توسط این محققان ارایه شده است.

جدول ۱. نتایج مطالعات انجام شده در زمینه تاثیر ناهمواری بر مصرف سوخت (Mclean & foley, 1998)

مرجع تحقیق	روش اندازه‌گیری مصرف سوخت	محدوده IRI (متر بر کیلومتر)	نوع وسیله نقلیه	اثر درصد تغییر در واحد IRI بر کاهش مصرف سوخت	
				درصد تغییر در مقاومت غلتشی	درصد تغییر در مصرف سوخت
(1988) Young	استفاده از مدل مکانستیک	۱/۳–٤/۰	کامیون	–	٤/۱
	اندازه‌گیری سوخت	۳/۳–٥/٦	خودرو سواری		۳/۱
	اندازه‌گیری سوخت	۲/۳–٤/٤	خودرو سواری		۳/٦
	اندازه‌گیری سوخت	۱/۷–٥/٤	خودرو سواری		۰/۸
(1982) Ross	اندازه‌گیری سوخت	۰/٥–۳/۷	خودرو سواری	–	۰/٤
(1984) Bester	مقاومت غلتشی	۱/٤–٥/٥	خودرو سواری	۲/٦	۰/٥
(1990) Descornet	مقاومت غلتشی	۰/۸–۷/۷	خودرو سواری	٤/۰	۰/۸
Laganier & Lucas (1990)	مقاومت غلتشی	۱–٦	خودرو سواری	٦/۰	۱/۲
(1990) Sandberg	اندازه‌گیری سوخت	۱–٦	خودرو سواری	–	۱/۷
Du Plessis et al., (1990)	مقاومت غلتشی	۱/۲–۱٥	خودرو سواری	۳/٤	۰/۷
			کامیون	٤/٤	۱/۱
Watanatada et al., (1987)	مقاومت غلتشی	۲–۱٤	خودرو سواری	۲/٥	۰/٥
			کامیون	۱/۸	۰/٥

Archive of SID
www.SID.ir

۳-داده‌های ورودی به نرم‌افزار HDM-4

داده‌های ورودی به نرم‌افزار HDM-4 به چهار قسمت اصلی شامل شبکه راه‌ها[۱۲]، ناوگان حمل و نقل[۱۳]، استانداردهای مرمت و بهسازی[۱۴] و پیکربندی HDM-4[۱۵] (تعریف معیارهای استاندارد برای هر کدام از متغیرهای موجود در نرم‌افزار) تقسیم می‌شود.

۳-۱- شبکه راه

در این بررسی، برداشت داده‌های مربوط به شبکه راه‌های شریانی استان خوزستان به منظور تحلیل در HDM-4 توسط شرکت مادر تخصصی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک انجام گردید. پس از بررسی، شبکه راه‌ها به ٦ شاخه[۱۶] اصلی و هر شاخه از لحاظ نوع راه و ترافیک موجود، به تعدادی قطعه همگن[۱۷] تقسیم گردید. مشخصات مربوط به شاخه‌ها و تعداد قطعات همگن در هر شاخه و طول هر شاخه در جدول ۲ آمده است.

۳-۲- ناوگان حمل و نقل

دسته دیگر از داده‌های ورودی به نرم‌افزار، داده‌های مربوط به ناوگان حمل و نقل می‌باشد. به منظور تعیین ترکیب ناوگان حمل و نقل و میزان تردد هر کدام از وسایل نقلیه، از آمار ترافیک مکانیزه آبان ماه سال ۱۳۸۷ که از سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای اخذ گردید استفاده شد.

جدول ۳ شامل اطلاعات مربوط به ناوگان حمل و نقل و مشخصات هر دسته از وسایل نقلیه می‌باشد. لازم به ذکر است در این بررسی دوره طرح ۱۰ سال (از سال ۲۰۱۲ تا سال ۲۰۲۱) تعیین گردید. محاسبات ترافیک نیز برای دوره طرح ۱۰ سال از شروع دوره طرح یعنی سال ۲۰۱۲ انجام گردید.

اطلاعات مربوط به ضریب محور استاندارد ۸/۲ تنی از آیین نامه روسازی آسفالتی راه‌های ایران (نشریه شماره ۲۳٤) اخذ شده است. محاسبات مربوط به کیلومتر و ساعات کارکرد سالیانه براساس اطلاعات موجود در سالنامه آماری سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای سال ۱۳۸۹ انجام شده است.

جدول ۲. مشخصات شبکه راه‌های شریانی مورد بررسی

کد شاخه	نام شاخه	تعداد قطعات همگن	طول شاخه (کیلومتر)
KZ01	اهواز- پل زال	۱۰	۳۲۵/۸
KZ02	اهواز- آبادان	٤	۱۹۹/۱
KZ03	اهواز- بهبهان	۱٤	۲۷۰/۸
KZ04	اهواز- سوسنگرد	٥	۷٦/۹
KZ05	اهواز- شلمچه	۳	۱۲۲/۸
KZ06	سه راهی هفتگل- دهدز	٥	۱۷۳/۱

جدول ۳. مشخصات ناوگان حمل و نقل

نوع وسیله نقلیه	خودروی انتخابی	تعداد محور	تعداد چرخ	وزن ناخالص (تن)	ضریب محور استاندارد ۸/۲ تنی	کیلومتر سالیانه	ساعات کارکرد سالیانه
خودروی شخصی	Pride saba	۲	٤	۱	۰/۰۰۰۷٦	۲۰۰۰۰	۲۸٦
وانت	Mazda B2000i	۲	٤	۲/٥	۰/۰۰۳۹۸	۲۰۰۰۰	۲۸٦
مینی‌بوس	Iveco PY-6700	۲	٦	٦/٥	۰/۰۳٦۸	۱۷۰۰۰	۲٤۲
اتوبوس	Volvo B12	۲	٦	۹	۰/۳۱۸٤	۱۸۰۰۰۰	۲٥۷۱
کامیونت	Renault Midlum 4x2	۲	٦	٥/۱	۰/۰۷٦۸	۲٤۰۰۰۰	۳٤۲۸
کامیون ۲ محور	Volvo FM11(4x2)	۲	٦	۱۹/٥	٦/٤۱	۲٤۰۰۰۰	۳٤۲۸
کامیون ۳ محور	Volvo FH12(6x4)	۳	۱۰	۲٦	۳/٤۱	۲٤۰۰۰۰	۳٤۲۸
کامیون ٥ محور	Volvo FH12(6x4)+Trailer	٥	۱۸	٤۰	۳/۸۷	۲٤۰۰۰۰	۳٤۲۸

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ٤. رویکردهای نگهداری تعریف شده در HDM-4

نوع رویکرد تعمیر و نگهداری	کد اختصاری در HDM-4	نوع مداخله
درزگیری	KZ1R:Crack sealing	واکنشی
لکه‌گیری	KZ2R: Patching	واکنشی
روکش نازک یک لایه‌ای	KZ3R: Single surface dressing	واکنشی
روکش آسفالت	KZ4R: 50 mm Overlay	واکنشی
لکه‌گیری و درزگیری و روکش	KZ5R:Overlay 50 mm+ Routine maintenance	واکنشی
بازسازی روسازی	KZ6R: Reconstruction	واکنشی

۳-۳- رویکردهای نگهداری تعریف شده در HDM-4

رویکردهای معرفی شده به نرم‌افزار HDM-4 شامل شش رویکرد مرمت و نگهداری می‌باشد که به صورت مستقل یا ترکیبی از چند رویکرد در نظر گرفته شده است. رویکردهای تعریف شده در نرم‌افزار HDM-4 مطابق جدول٤ می‌باشد.

۳-٤- داده‌های آب و هوا

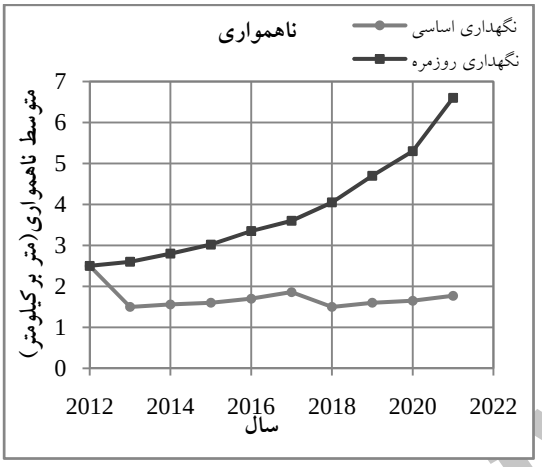
داده‌های آب و هوا مربوط به ایستگاه هواشناسی اهواز می‌باشد که از سایت اداره کل هواشناسی استان خوزستان اخذ گردید. با مقایسه داده‌های آب و هوا با استانداردهای نرم‌افزار، استان خوزستان از لحاظ موقعیت آب و هوایی در منطقه گرم و خشک قرار می‌گیرد.

٤- تحلیل داده‌ها

تحلیل‌ها در دو حالت کلی در نظر گرفته شد:

در حالت اول، رویکردهای مرمت و نگهداری به گونه‌ای اعمال شدند که پس از اجرای عملیات مرمت و بهسازی میزان IRI به ۱/۵ متر بر کیلومتر برسد. طبق رده‌بندی HDM-4 این میزان ناهمواری در محدوده خوب قرار دارد. در حالت دوم رویکردها به گونه‌ای اعمال شدند که پس از اجرای عملیات مرمت و بهسازی میزان IRI به ۲/۵ متر بر کیلومتر برسد. طبق رده‌بندی HDM-4 این میزان ناهمواری در محدوده متوسط قرار دارد. در هر دو حالت، نتایج برای حالتی که فقط نگهداری روزمره [xviii] (درزگیری و لکه‌گیری) و زمانی که عملیات مرمت و بهسازی اساسی نظیر روکش، در دوره طرح روسازی در نظر گرفته شود، مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت. در ادامه نتایج تحلیل برای قطعه شوش- اندیمشک ارایه شده است.

قطعه شوش-اندیمشک به طول ۳۵/۱ کیلومتر در شاخه اهواز- پل‌زال قرار دارد. نمودار روند ناهمواری در دوره طرح ۱۰ سال در محور شوش- اندیمشک برای دو رویکرد نگهداری روزمره و نگهداری اساسی در شکل ۱ ارایه شده است.

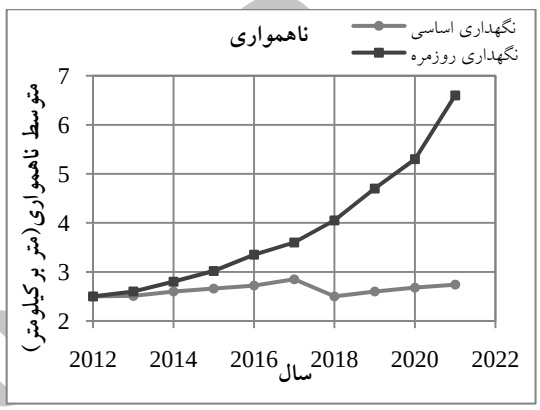


شکل ۱. نمودار IRI در ناهمواری ۱/۵ متر بر کیلومتر

با توجه به شکل ۱، در سال‌های ۲۰۱۲، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۱ در رویکرد نگهداری اساسی، طبق تشخیص نرم‌افزار، روکش نازک تک لایه‌ای اعمال شده است. پس از اعمال روکش، مقدار IRI به ۱/۵ متر بر کیلومتر کاهش می‌یابد و سپس در سال‌های پس از اعمال روکش، روند افزایشی دارد. البته پس از اعمال روکش، ناهمواری با شیب کمتری نسبت به عملیات نگهداری روزمره افزایش می‌یابد. پس از اعمال روکش نازک تک لایه‌ای میزان IRI از ۲/۵ متر بر کیلومتر در سال ۲۰۱۲ به زیر ۲ متر بر کیلومتر در سال‌های بعد رسیده است. به عبارت دیگر درروبکرد نگهداری اساسی، مقدار IRI در سال‌های دوره طرح همواره کمتر از IRI اولیه است.

Archive of SID
www.SID.ir

در رویکرد نگهداری روزمره (درزگیری و لکه‌گیری) به تشخیص نرم‌افزار در سال‌های ۲۰۱٤ تا سال ۲۰۲۱ هر سال لکه‌گیری اعمال شده است. مطابق شکل۱ در رویکرد نگهداری روزمره مقدار IRI روند افزایشی دارد به طوری که از ۲/۵ متر بر کیلومتر به ٦/۵ متر بر کیلومتر افزایش یافته است. همان طور که در نمودار شکل۱ مشاهده می‌شود روند افزایش ناهمواری در این رویکرد تقریبا از سال ۲۰۱۷ با شیب بیشتری افزایش یافته است. نمودار شکل۲ تغییرات IRI را در دوره طرح روسازی برای زمانی که پس از اعمال عملیات مرمت و بهسازی ناهمواری به ۲/۵ متر بر کیلومتر برسد، نشان می‌دهد.



شکل ۲. نمودار IRI در ناهمواری ۲/۵ متر بر کیلومتر

روند تغییرات ناهمواری در نمودار شکل۲ مشابه نمودار شکل۱ می‌باشد با این تفاوت که پس از اعمال رویکردهای مرمت و بهسازی اساسی، میزان ناهمواری به ۲/۵ متر بر کیلومتر می‌رسد. نمودار مربوط به رویکرد نگهداری روزمره دقیقا مشابه حالت قبل می‌باشد. در رویکرد نگهداری اساسی، در سال‌های ۲۰۱۲، ۲۰۱۷ و ۲۰۲۱ به تشخیص نرم‌افزار روکش نازک تک لایه‌ای اعمال شده است. پس از اعمال روکش میزان IRI به ۲/۵ متر بر کیلومتر کاهش می‌یابد. با اعمال روکش نازک تک لایه‌ای میزان IRI از ۲/۵ متر بر کیلومتر در سال ۲۰۱۲ به زیر ۳ متر بر کیلومتر در سال‌های آینده رسیده است. به عبارت دیگر در رویکرد نگهداری اساسی، مقدار IRI در سال‌های پس از اعمال روکش همواره بیشتر از مقدار IRI اولیه است.

۵- مصرف سوخت وسایل نقلیه

نتایج حاصل از تحلیل مصرف سوخت وسایل نقلیه، در دو سطح از ناهمواری و در هر دو سطح، مصرف سوخت وسایل نقلیه برای دو نوع رویکرد(نگهداری روزمره و نگهداری اساسی) در دوره طرح مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور مقایسه بهتر، مقدار مصرف سوخت وسایل نقلیه در محور شوش- اندیمشک در دوره طرح روسازی به صورت نمودار برای هر هشت دسته از وسایل نقلیه (شامل خودروی سواری، وانت، مینی‌بوس، کامیونت، اتوبوس، کامیون دو محور سنگین، کامیون سه محور و کامیون پنج محور) ترسیم گردید.

۵-۱- مصرف سوخت در ناهمواری ۱/۵ متر بر کیلومتر

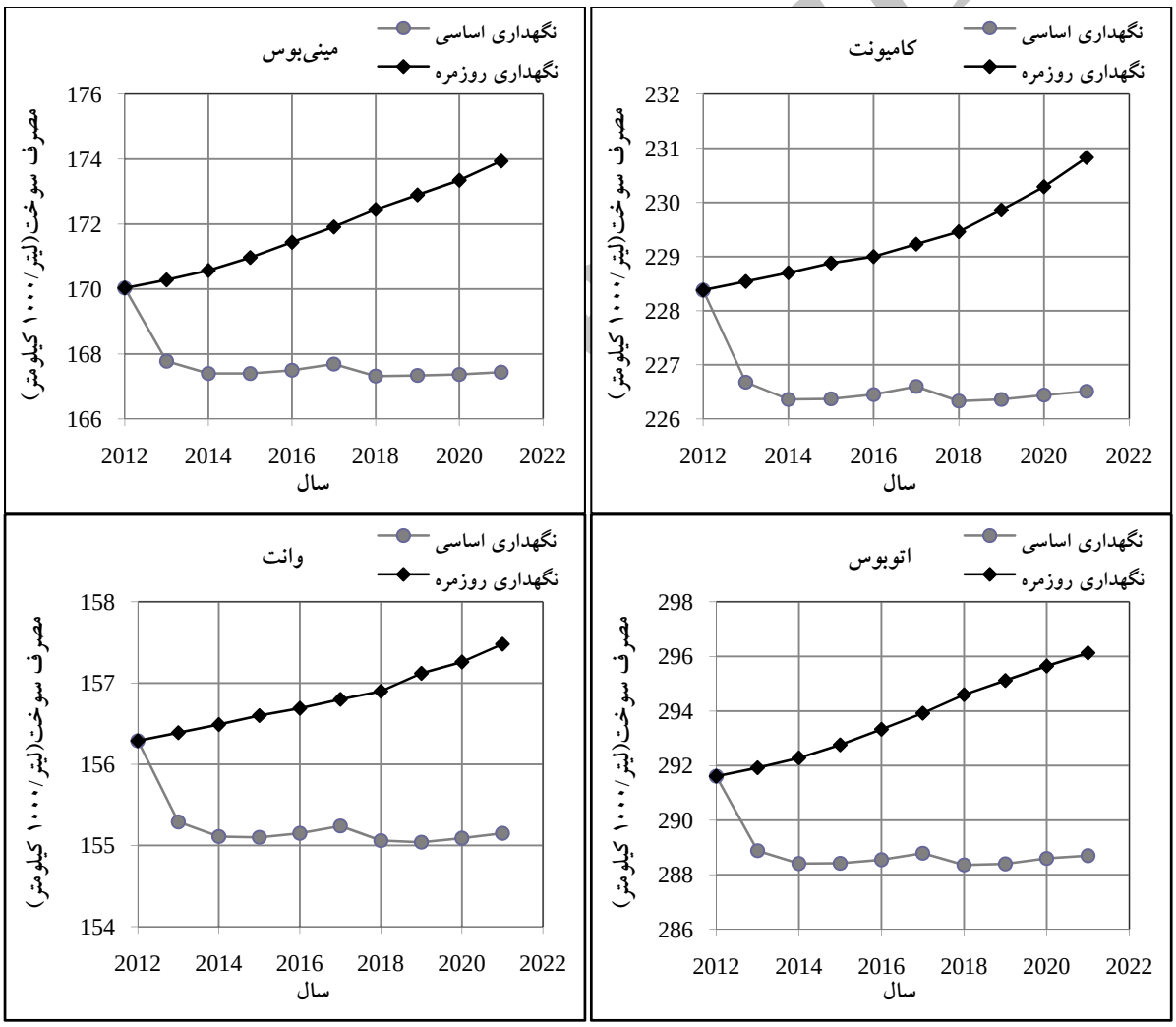
نمودارهای مصرف سوخت برای هر هشت دسته از وسایل نقلیه برای زمانی که پس از اجرای بهسازی، ناهمواری ۱/۵ متر بر کیلومتر شود، در شکل۳ ارائه شده است. در نمودارهای مصرف سوخت، رویکرد نگهداری روزمره شامل درزگیری و لکه‌گیری و رویکرد نگهداری اساسی شامل روکش نازک، بازسازی و... می‌باشد.

مطابق شکل۳ نتایج به دست آمده نشان می‌دهد روند تغییرات مصرف سوخت خودروها در هر هشت دسته وسایل نقلیه مشابه است. تفاوت نمودارهای مصرف سوخت، در مقدار مصرف سوخت و مقدار کاهش مصرف سوخت انواع مختلف وسایل نقلیه پس از اعمال گزینه‌های مختلف نگهداری و بهسازی روسازی می‌باشد. با توجه به شکل۳ مصرف سوخت کلیه وسایل نقلیه در دوره طرح ده سال برای حالتی که تنها نگهداری روزمره به عنوان رویکرد نگهداری در نظر گرفته شود کاهش محسوسی نداشته ولی در رویکرد نگهداری اساسی، درست در زمان اعمال روکش مصرف سوخت کلیه وسایل نقلیه کاهش یافته است. با توجه به نمودارها، مقدار کاهش مصرف سوخت خودروهای سنگین و دیزلی بیشتر از خودروهای سبک و بنزینی می‌باشد.

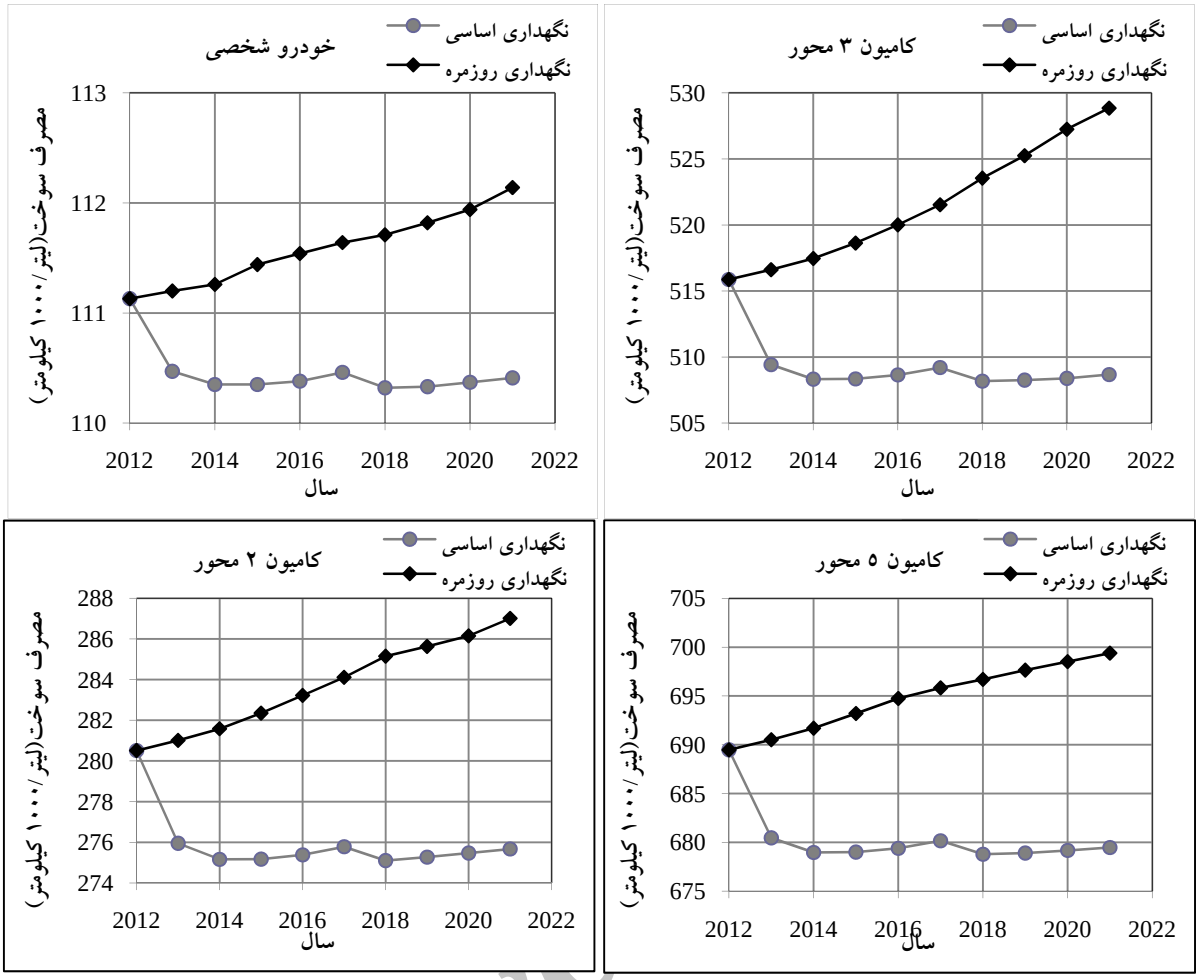
Archive of SID
www.SID.ir

۵-۲- مصرف سوخت در ناهمواری ۲/۵ متر بر کیلومتر

نمودارهای مربوط به مصرف سوخت دسته‌های مختلف وسایل نقلیه، زمانی که پس از اجرای گزینه‌های نگهداری و بهسازی اساسی ناهمواری ۲/۵ متر بر کیلومتر شود، در شکل٤ ارایه شده است. با توجه به شکل٤ مصرف سوخت کلیه وسایل نقلیه در دوره طرح ده سال برای حالتی که تنها نگهداری روزمره به عنوان رویکرد نگهداری در نظر گرفته شود کاهش محسوسی نداشته ولی در رویکرد نگهداری اساسی درست در زمان اعمال روکش، مصرف سوخت کلیه وسایل نقلیه کاهش یافته است ولی این کاهش مصرف سوخت نسبت به حالت قبل یعنی زمانی که ناهمواری ۱/۵ متر بر کیلومتر شود، کمتر می‌باشد. بنابراین کیفیت ساخت یکی از پارامترهای مهم در هزینه‌های عملیاتی وسایل نقلیه می‌باشد. همان طور که در نمودارهای شکل۳ و ٤ مشاهده می‌شود هرچه روسازی از لحاظ ناهمواری در شرایط بهتری باشد کاهش مصرف سوخت وسایل نقلیه نیز بیشتر می‌باشد. در جدول ۵ صرفه‌جویی اقتصادی حاصل از کاهش مصرف سوخت وسایل نقلیه پس از اجرای عملیات مرمت و نگهداری اساسی در دوره طرح ۱۰ سال نسبت به نگهداری روزمره برای انواع وسایل نقلیه در محور شوش- اندیمشک آمده است. لازم به ذکر است در محاسبات مربوط به صرفه‌جویی اقتصادی، قیمت بنزین ثابت و لیتری ٤۰۰۰ ریال و قیمت گازوییل نیز ثابت و لیتری ۱۵۰۰ ریال در نظر گرفته شده است.



www.SID.ir



شکل ۳. نمودار مصرف سوخت وسایل نقلیه در ناهمواری ۱/۵ متر بر کیلومتر

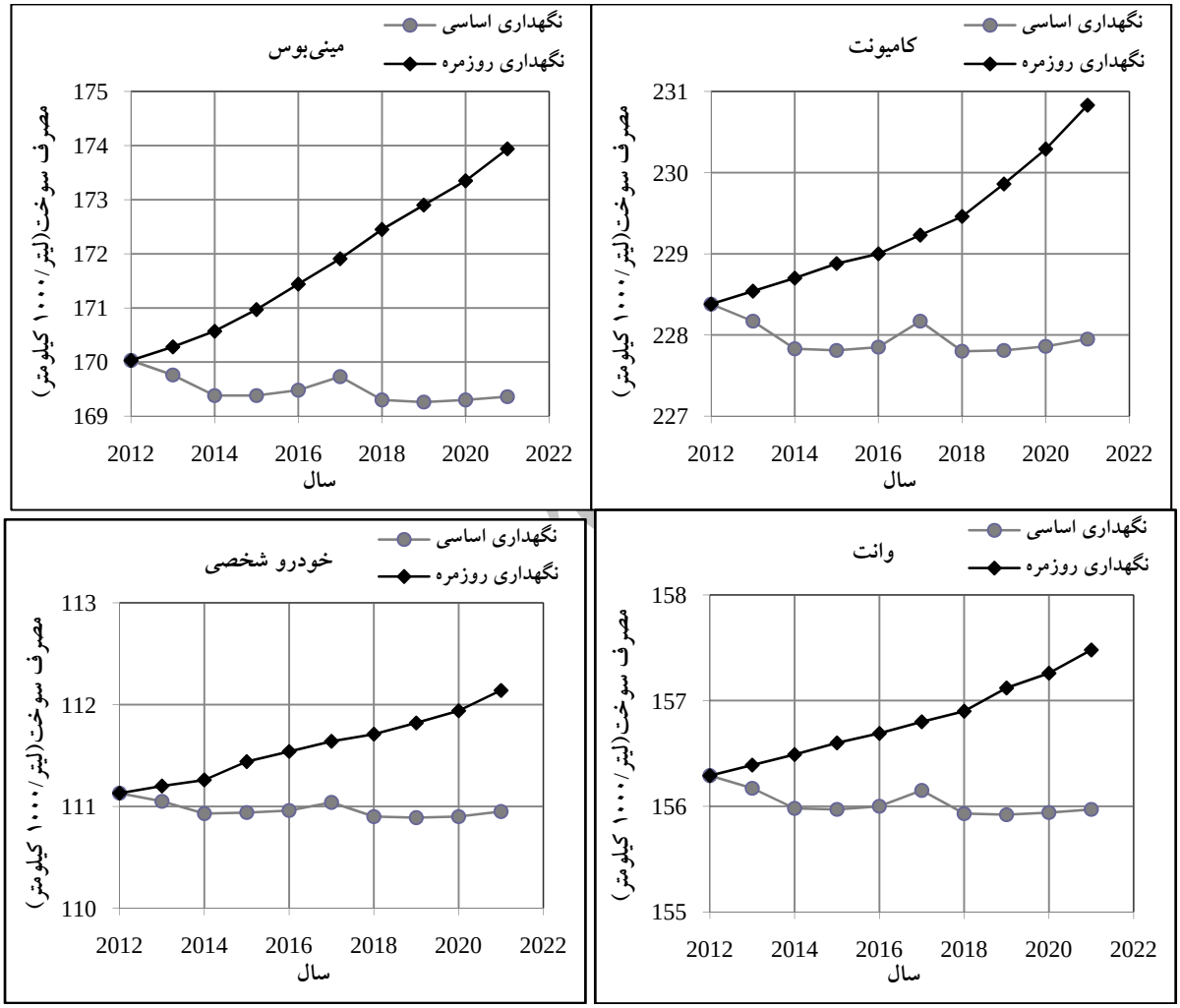
جدول ۵. صرفه‌جویی اقتصادی در مصرف سوخت در محور شوش- اندیمشک

دسته‌های وسایل نقلیه	صرفه‌جویی اقتصادی در ناهمواری ۱/۵ متر برکیلومتر (میلیارد ریال)	صرفه‌جویی اقتصادی در ناهمواری ۲/۵ متر بر کیلومتر (میلیارد ریال)	هزینه اجرای نگهداری روزمره در دوره طرح (میلیارد ریال)	هزینه اجرای روکش در دوره طرح (میلیارد ریال)
خودروی شخصی	۵/۰۵	۱/۰۳	۰/٦	۲۱/۹۹
وانت	۲/۳۲	۱/۱۵		
مینی‌بوس	۰/٤۳	۰/۲٤		
کامیونت	۹/٤۰	٤/۷۸		
اتوبوس	۱۹/٦۳	۱۰/۹۱		
کامیون ۲ محوره	۲۱/۲۱	۱۲/۳۲		
کامیون ۳ محوره	۳۱/٤۰	۱۷/۱۸		
کامیون ۵ محوره	۱۰۳/٤۰	۵۳/٤۰		
جمع	۱۹۲/۸٤	۱۰۱/۰۱	۰/٦	۲۱/۹۹

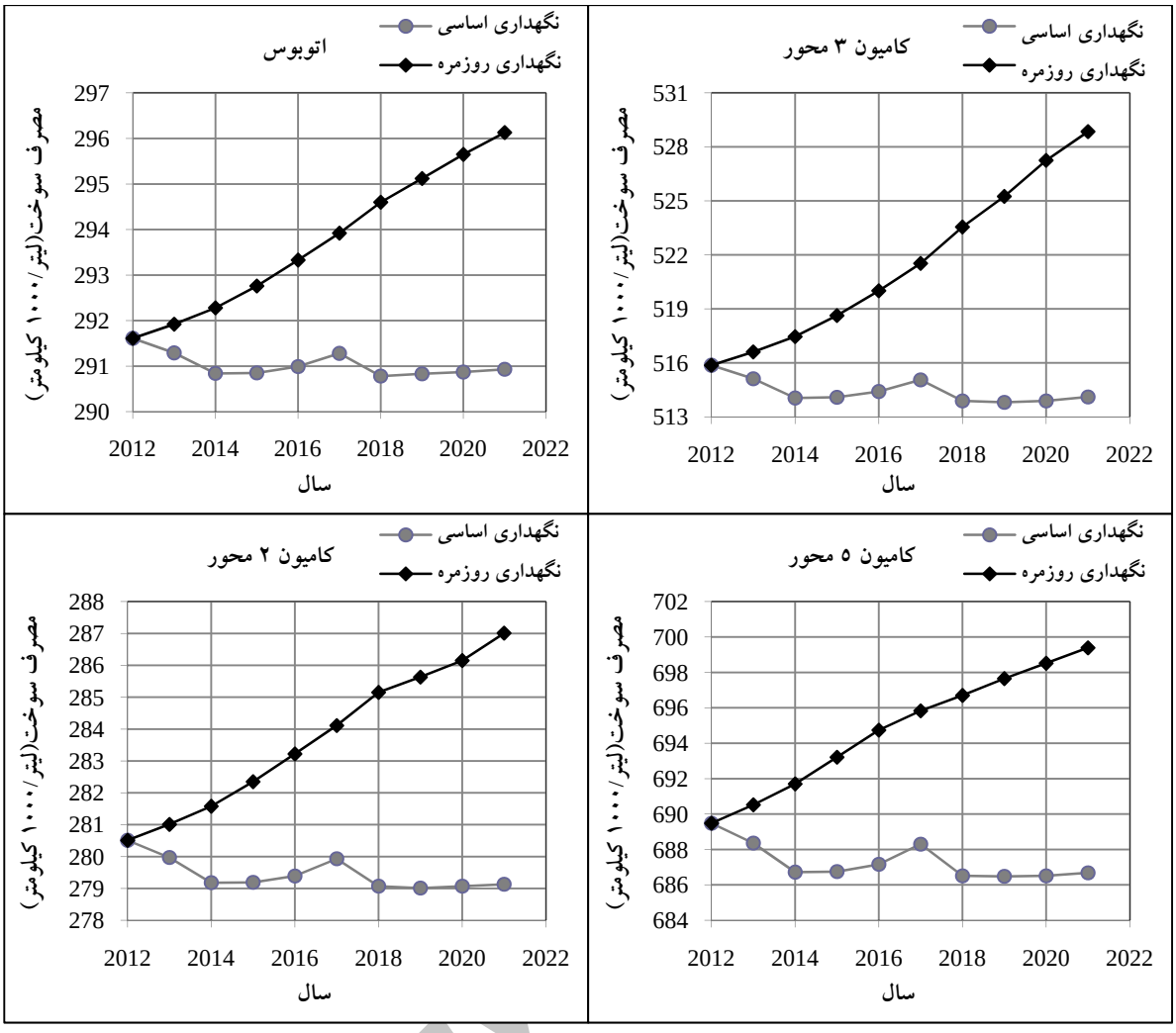
Archive
www.SID.ir

لازم به ذکر است در این بررسی صرفه‌جویی اقتصادی حاصل از کاهش مصرف سوخت، بر اساس میزان کاهش مصرف سوخت، پس از اجرای عملیات بهسازی نسبت به نگهداری روزمره می‌باشد. مطابق جدول۵، صرفه‌جویی اقتصادی حاصل از کاهش مصرف سوخت هر دسته از وسایل نقلیه در ناهمواری ۱/۵ متر بر کیلومتر خیلی بیشتر از ناهمواری ۲/۵ متر بر کیلومتر می‌باشد.

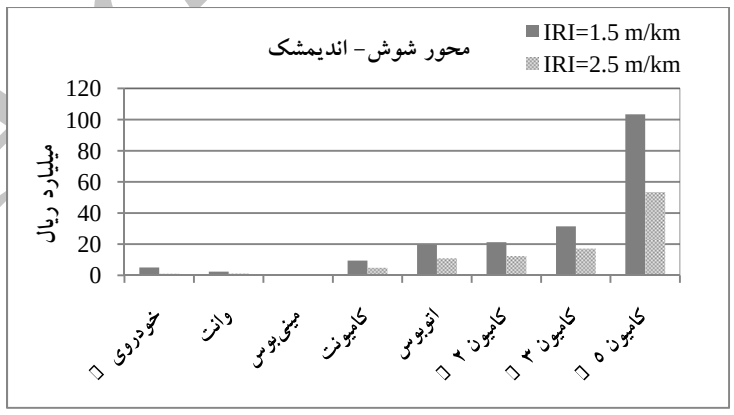
علاوه بر آن صرفه‌جویی اقتصادی ناشی از کاهش مصرف سوخت وسایل نقلیه در دوره طرح روسازی باعث جبران هزینه‌های اولیه اجرای عملیات مرمت و بهسازی روسازی می‌شود. در شکل۵ نمودار صرفه‌جویی اقتصادی حاصل از کاهش مصرف سوخت انواع وسایل نقلیه در دوره طرح ۱۰ سال ترسیم شده است.



www.SID.ir



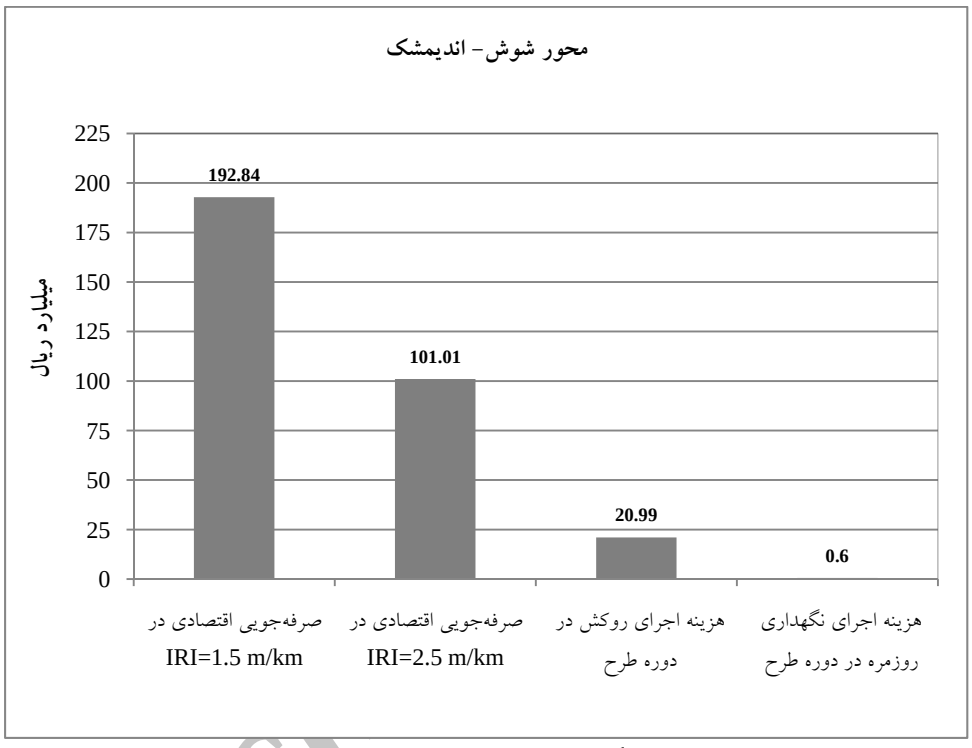
شکل ٤. نمودار مصرف سوخت وسایل نقلیه در ناهمواری ۲/۵ متر بر کیلومتر



شکل ۵. صرفه‌جویی اقتصادی حاصل از کاهش مصرف سوخت وسایل نقلیه

www.SID.ir

با توجه به شکل۵ هزینه حاصل از کاهش مصرف سوخت وسایل نقلیه پس از اجرای رویکردهای بهسازی قابل ملاحظه است. همچنین صرفه‌جویی اقتصادی حاصل از کاهش مصرف سوخت وسایل نقلیه سنگین بسیار بیشتر از وسایل نقلیه سبک می‌باشد. با مقایسه صرفه‌جویی اقتصادی حاصل از کاهش مصرف سوخت وسایل نقلیه برای سطوح مختلف ناهمواری مشاهده می‌شود که هزینه حاصل از صرفه‌جویی در مصرف سوخت در ناهمواری ۱/۵ متر بر کیلومتر بیشتر از ناهمواری ۲/۵ متر بر کیلومتر می‌باشد. بنابراین هر قدر کیفیت روسازی، پس از ساخت بهتر باشد، صرفه‌جویی در هزینه‌های عملیاتی وسایل نقلیه نیز بیشتر خواهد بود. در شکل ٦ نمودار میزان صرفه‌جویی اقتصادی حاصل از کاهش مصرف سوخت کلیه وسایل نقلیه موجود در محور شوش- اندیمشک و هزینه اجرای رویکردهای نگهداری ترسیم شده است.



شکل ٦. هزینه اجرای رویکردهای نگهداری در مقایسه با صرفه جویی حاصل از کاهش مصرف سوخت

با توجه به شکل ٦ مشاهده می‌شود صرفه‌جویی اقتصادی حاصل از کاهش مصرف سوخت وسایل نقلیه در محور شوش- اندیمشک در دوره طرح ۱۰ سال در ناهمواری ۱/۵ متر بر کیلومتر تقریباً ۱۰ برابر و در ناهمواری ۲/۵ متر بر کیلومتر تقریبا ۵ برابر هزینه اجرای روکش می‌باشد. بنابراین با اجرای نگهداری اساسی در زمان مناسب، صرفه‌جویی بسیار زیادی در مصرف سوخت از طریق بهبود کیفیت سواری و مشخصات سطحی روسازی حاصل می‌شود.

٦- مقایسه فنی و اقتصادی رویکردهای مرمت و نگهداری بر مصرف سوخت

با توجه به نتایج مربوط به مصرف سوخت وسایل نقلیه در محورهای مورد ارزیابی، مشاهده می‌شود با اعمال عملیات مرمت و بهسازی در زمان‌های مناسب، مصرف سوخت خودروها کاهش می‌یابد که صرفه‌جویی اقتصادی حاصل از کاهش مصرف سوخت خودروها، در دراز مدت و در چرخه عمر روسازی قابل توجه است. با توجه به نتایج به دست آمده، پس از اعمال

www.SID.ir

عملیات نگهداری اساسی میزان کاهش مصرف سوخت در ناهمواری ۱/۵ متر بر کیلومتر برای وسایل نقلیه سبک (سواری و وانت) بین ۰/۵ تا ۱/۵ درصد و برای وسایل نقلیه سنگین و دیزلی بین ۱/۵ تا ٤ درصد می‌باشد. این کاهش مصرف سوخت، پس از عملیات مرمت و بهسازی در ناهمواری ۲/۵ متر بر کیلومتر برای وسایل نقلیه سبک بین ۰/۱ تا ۱/۰ درصد و برای وسایل نقلیه سنگین و دیزلی بین ۰/۵ تا ۲/۵ درصد می‌باشد. نتایج به دست آمده در زمینه کاهش مصرف سوخت برای خودروهای سنگین، به مطالعات انجام شده در آمریکا که بر روی خودروهای سنگین انجام شده است، مطابقت دارد. همچنین نتایج کاهش مصرف سوخت به مطالعات انجام شده توسط یانگ در سال ۱۹۸۸ که بر روی محدوده وسیعی از ناهمواری انجام شد نزدیک می‌باشد.

۷- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از تحلیل‌ها و اطلاعات خروجی:

۱- نتایج به‌دست‌آمده از مصرف سوخت وسایل نقلیه نشان می‌دهد که مصرف سوخت وسایل نقلیه با وضعیت ظاهری روسازی رابطه مستقیم دارد. به عبارت دیگر، هر چه سطح روسازی از لحاظ خرابی و ناهمواری در وضعیت مناسب‌تری باشد به‌همان نسبت مصرف سوخت خودروها کاهش می‌یابد.

۲- با اعمال عملیات نگهداری اساسی نظیر روکش، مصرف سوخت وسایل نقلیه کاهش می‌یابد. پس از آن، روند مصرف سوخت در سال‌های آینده افزایش می‌یابد ولی شیب افزایش مصرف سوخت در این حالت نسبت به زمانی که هیچ نوع عملیات نگهداری اساسی به روسازی اعمال نشود، کمتر است.

۳- میزان کاهش مصرف سوخت برای وسایل نقلیه مختلف متفاوت است. مطابق نتایج به دست آمده، پس از انجام عملیات بهسازی روسازی، کاهش مصرف سوخت برای وسایل نقلیه سنگین و دیزلی بیشتر است.

٤- ناهمواری پس از ساخت روسازی بر مصرف سوخت خودروها تاثیرگذار است. هرچه ناهمواری پس از اعمال گزینه‌های مرمت و نگهداری اساسی کمتر شود، مصرف سوخت نیز بیشتر کاهش می‌یابد. همان طور که در نتایج نیز مشهود است میزان کاهش مصرف سوخت در ناهمواری ۱/۵ متر بر کیلومتر (مطابق رده‌بندی HDM-4 در محدوده خوب قرار دارد.) بیشتر از ناهمواری ۲/۵ متر بر کیلومتر (مطابق رده‌بندی HDM-4 در محدوده متوسط قرار دارد) می‌باشد.

۵- پس از اعمال نگهداری اساسی میزان کاهش مصرف سوخت در ناهمواری ۱/۵ متر بر کیلومتر برای وسایل نقلیه سبک بین ۰/۵ تا ۱/۵ درصد و برای وسایل نقلیه سنگین و دیزلی بین ۱/۵ تا ٤ درصد می‌باشد. این کاهش مصرف سوخت، پس از عملیات مرمت و بهسازی در ناهمواری ۲/۵ متر بر کیلومتر برای وسایل نقلیه سبک بین ۰/۱ تا ۱/۰ درصد و برای وسایل نقلیه سنگین و دیزلی بین ۰/۵ تا ۲/۵ درصد می‌باشد.

٦- گرچه هزینه مربوط به اجرای عملیات نگهداری اساسی بیشتر از نگهداری روزمره است ولی صرفه‌جویی اقتصادی در هزینه‌های عملیاتی وسایل نقلیه در دراز مدت باعث جبران هزینه‌های اولیه مرمت و بهسازی روسازی می‌شود. همان طور که در محور شوش- اندیمشک مشاهده شد هزینه اجرای روکش در دوره طرح روسازی تقریبا یک- دهم هزینه صرفه‌جویی اقتصادی در ناهمواری ۱/۵ متر بر کیلومتر و یک- پنجم هزینه صرفه‌جویی اقتصادی در ناهمواری ۲/۵ متر بر کیلومتر می‌باشد.

۸- پی‌نوشت‌ها

1- Fuel Consumption
2- Vehicle Operating Costs
3- Pavement Surface Condition
4-Roughness
5-Skid Resistance
6-Highway Development and Management
7-American Association of State Highway Officials
8-Interaction
9-Macro Texture
10-International Roughness Index
11-Rolling Resistance
12-Road Networks
13-Vehicle Fleets
14-Work Standards
15-Configuration
16-Branch
17-Section
18-Routine Maintenance

Archive of SID
www.SID.ir

۹- مراجع

- فخری، م. (۱۳۸۹)، "حدود شاخص بین‌المللی ناهمواری (IRI) برای راه‌های ایران"، کتاب راهنما، پژوهشکده حمل و نقل.
- معاونت برنامه‌ریزی- دفتر فناوری اطلاعات (۱۳۹۰)، "سالنامه آماری سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای ۱۳۸۹"، سازمان راهداری و حمل ونقل جاده‌ای، معاونت برنامه‌ریزی.
- معاونت برنامه‌ریزی- دفتر فناوری اطلاعات (۱۳۸۸)، "فهرست بهای واحد پایه رشته راه، باند فرودگاه و زیرسازی راه‌آهن رسته راه و ترابری سال ۱۳۸۸"، سازمان برنامه و بودجه، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی.
- وزارت راه و شهرسازی، مؤسسه قیر و آسفالت ایران پژوهشکده حمل و نقل (۱۳۹۰)، " آیین نامه روسازی آسفالتی راه های ایران نشریه شماره ۲۳٤"، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، تجدید نظر اول.
- E. Beuving, T. De Jonghe, D. Goos, T. Lindahl, A. Stawiarski (2004), "Environmental Impacts and Fuel Efficiency of Road Pavements", Industry report, joint EAPA/Eurobitume task group fuel efficiency.
- Federal Highway Administration (2000), "Westrack track Roughness, Fuel Consumption and Maintenance costs", Report Numbers FHWA-RD-00-052, pp. 29-31.
- Mclean. John, foley. Graham (1998), " Road surface characteristics and condition: effects on road users", ARRB transport research, research report ARR314.
- Sandberg, Ulf S. I (1990), "Road macro- and megatexture influence on fuel consumption", ASTM STP 1031, pp. 460-479.
- Tang. Wang, In-Sung. Lee, Alissa. Kendall, John. Harvey, Eul-Bum. Lee, Changmo. Kim (2012), "Life cycle energy consumption and GHG emission from pavement rehabilitation with different rolling resistance", Elsevier, Journal of Cleaner Production.
- Zaabar. Imen (2010), "Effect of pavement conditions on vehicle operating costs including fuel consumption, vehicle durability and damage to transported goods", Michigan State University, Ph.D. dissertation.

Archive of SID

www.SID.ir